

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



(19)

(11) Publication number: 10134996 A

Generated Document.

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 08307208

(51) Intl. Cl.: H05H 1/46 C23F 4/00 H01L 21/3065

(22) Application date: 31.10.96

(30) Priority:

(43) Date of application publication: 22.05.98

(84) Designated contracting states:

(71) Applicant: NEC CORP  
ANELVA CORP  
NIPPON KOSHUHA KK(72) Inventor: SAGAWA SEIJI  
NAKAGAWA KOJIN  
SATO HISAAKI  
TSUKADA TSUTOMU  
SHINOHARA KIBATSU  
NIIIMURA YASUO

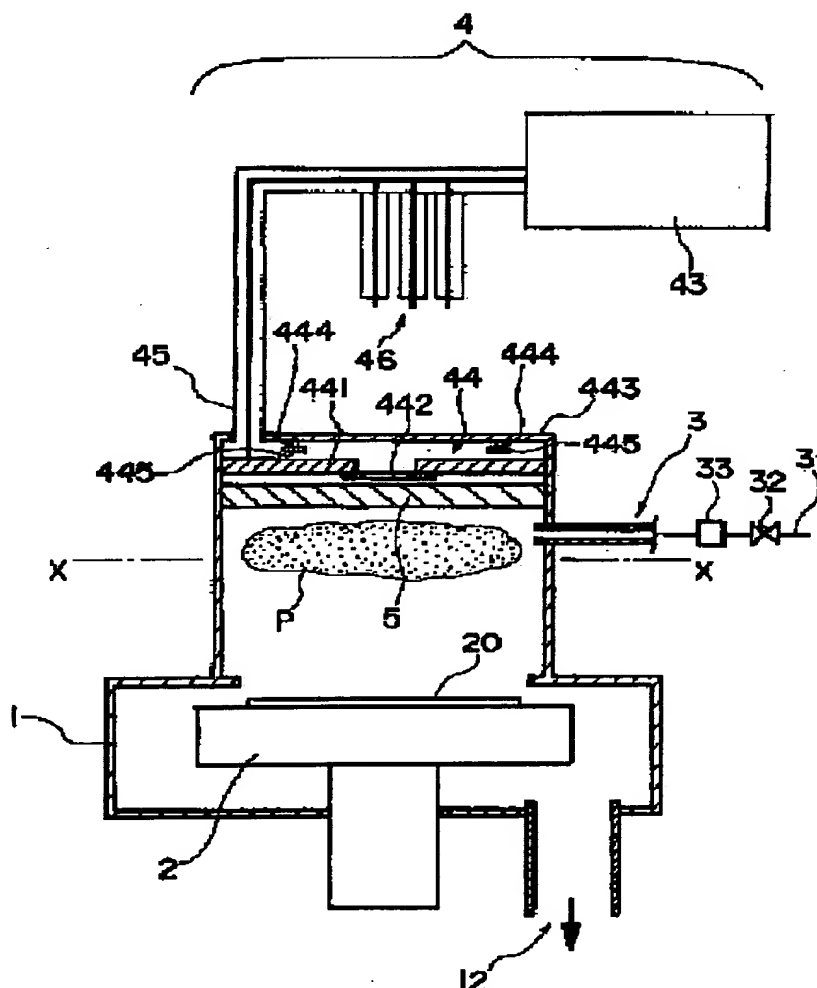
(74) Representative:

## (54) PLASMA TREATMENT EQUIPMENT

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide practical equipment capable of forming a plasma by using a high frequency in the 100MHz to 1000MHz frequency range.

**SOLUTION:** A high-frequency electrical field for forming a plasma is composed of a plurality of antenna elements 441 centrally, symmetrically placed on a radiation, a concentrically annulus conductor 442 for a tip short circuit and for short-circuiting the tip of each antenna element 441, and a cylindrical holding frame 443 for holding the peripheral side end part of each antenna element 441. A high-frequency line 45 connects high-frequency power from a high-frequency power source 43, about 500MHz, 2kw, to only one antenna element 441. Two adjacent antenna elements 441 and the conductor for the tip short circuit have length half the wavelength of the high frequency to constitute a resonance circuit. The high frequency supplied to one antenna element 441 is efficiency transmitted to the adjacent antenna element 441 with the high frequency resonated. The result uniformly excites the entire antenna 44 to form the plasma having high uniformity in high efficiency.



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-134996

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月22日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

A

B

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

A

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/205

// H 0 1 L 21/205

21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平8-307208

(22) 出願日

平成8年(1996)10月31日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(71) 出願人 000227294

アネルバ株式会社

東京都府中市四谷5丁目8番1号

(71) 出願人 391020986

日本高周波株式会社

神奈川県横浜市緑区中山町1119

(72) 発明者 寒川 誠二

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内

(74) 代理人 弁理士 保立 浩一

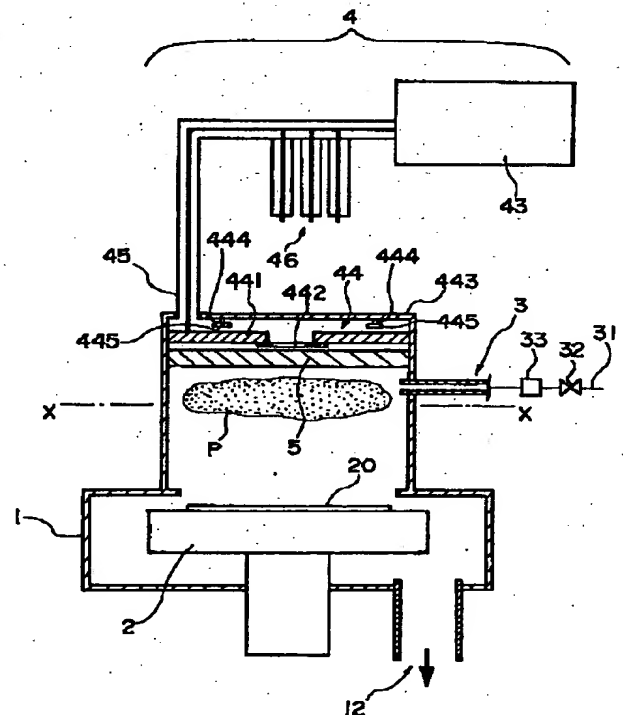
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 100MHzから1000MHzの範囲の周波数の高周波を使用してプラズマ形成することができる実用的な装置を提供する。

【解決手段】 プラズマ形成のための高周波電界を設定するアンテナ44は、放射線上に中心対称的に配置された複数のアンテナ素子441と、各アンテナ素子441の先端を短絡した同心円環状の先端短絡用導体442と、各アンテナ素子443の周辺側端部を保持した円筒状の保持枠443で構成されており、500MHz 2kw程度の高周波電源43から高周波電力を高周波線路45は一つのアンテナ素子441にのみ接続されている。隣接する二つのアンテナ素子441と先端短絡用導体は高周波の波長の1/2の長さを有して共振回路を構成する。一つのアンテナ素子441に供給された高周波が共振しながら隣接するアンテナ素子441に効率よく伝搬するため、アンテナ44全体が均一に励振され、均一性の高いプラズマが高効率で形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ形成用のガスに所定の高周波電力を供給するアンテナを具備しており、アンテナから供給された高周波電力によってプラズマを形成し、形成されたプラズマによって基板の表面に所定の処理を行うプラズマ処理装置であって、

前記アンテナは、基板と同軸上の中心点に対して中心対称的に配置された複数のアンテナ素子を有し、各アンテナ素子の先端は、中心点に対して中心対称的に高周波電流の経路を設定する先端短絡用導体によって短絡されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記各アンテナ素子と前記先端短絡用導体によって、供給する高周波電力の周波数で共振する複数の共振回路が中心対称的に形成されていることを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記複数のアンテナ素子のうちの隣り合う二本のアンテナ素子の合計の長さ、その隣り合うアンテナ素子の先端を短絡する前記先端短絡用導体による高周波電流の経路の長さとの和が、当該高周波電流の経路における高周波の波長の1/2の長さに相当していることを特徴とする請求項1又は2記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 前記複数のアンテナ素子は、基板の表面と平行な方向のアンテナ面の上に配設されており、これらのアンテナ素子が配設される空間とプラズマが形成される基板側の空間とを隔絶する誘電体製の隔壁が設けられていることを特徴とする請求項1、2又は3記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 前記複数のアンテナ素子は、基板の表面と平行な方向のアンテナ面の上に配設されており、これらのアンテナ素子と前記先端短絡用導体とによってアンテナ面上に形成される開口を気密に塞ぐ誘電体製の隔絶ブロックを備えていることを特徴とする請求項1、2又は3記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 前記複数のアンテナ素子は、基板の中心と同軸上の中心点を中心とした等間隔の放射線上に中心点から等距離離間して配設された同一長さの棒状のものであり、これらのアンテナ素子の周辺側の端部を一体に保持した円環状又は円筒状の保持枠が設けられていることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 前記高周波電力の周波数が100から1000MHzであることを特徴とする請求項1、2、3、4、5又は6記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 前記アンテナは、当該アンテナを構成する複数のアンテナ素子のうちの一つのアンテナ素子にのみ高周波線路が接続されていることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6又は7記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本願の発明は、プラズマを利用して半導体ウェーハ等の基板の所定の処理を施すプラズマ処理装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】プラズマを利用して半導体ウェーハや液晶基板等の表面に所定の処理を施す装置は、プラズマCVD（化学的気相成長）装置やプラズマエッチング装置等として広く知られている。このようなプラズマ処理装置では、処理速度を高めるなどの要請から高密度プラズマを形成する必要がある、しかも、微細加工の精度向上などの観点から、より低い圧力で高密度プラズマを形成することが要求されている。

【0003】より低い圧力でより高い密度のプラズマを形成するには、電離効率の向上等の改良が必要となってくるが、高密度プラズマを低圧で形成できる装置として、ヘリコン波プラズマ処理装置、ECRプラズマ処理装置、誘導結合型プラズマ処理装置等が開発されてきた。図12は、このような従来のプラズマ処理装置の一例を示したものであり、特開平3-79025号公報に開示された誘導結合型プラズマ処理装置の概略を示した正面断面斜視図である。

【0004】図12に示すプラズマ処理装置は、上部壁面に誘電体窓11を有する真空容器1と、真空容器1内の所定位置に基板を配置するための基板ホルダー2と、真空容器内にプラズマ形成用ガスを導入する不図示のガス導入手段3と、真空容器1の外側であって誘電体窓11に近接した位置に配置された高周波コイル40と、整合器41を介して高周波コイル40に所定の高周波電力を印加する高周波電源42等から主に構成されている。

【0005】真空容器1は、排気系12を備えた気密な容器であり、ガス導入手段3によって所定のプラズマ形成用ガスが導入されるようになっている。また、真空容器1内の下方には、基板ホルダー2が配設されており、上面に基板20を保持するようになっている。そして、高周波コイル40は、基板20の板面に垂直な方向を中心軸として基板20の板面に平行な面内に渦巻き状に形成されたものである。

【0006】高周波電源42から高周波コイル40に印加された高周波電力は、誘電体窓11を通して真空容器1内に誘導電界を発生させる。真空容器1内に導入されたプラズマ形成用ガスはこの誘導電界によって放電を生じ、プラズマが形成される。この際、高周波コイル40とプラズマとは、誘電体窓11を通してインダクティブに結合していることから、誘導結合型プラズマと呼ばれる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図12に例示したようなプラズマ処理装置は、 $10^{-3}$ Torr台で $10^{11}$ cm<sup>-3</sup>台の高密度プラズマを形成することが可能である。しかしな

がら、このようなプラズマ処理装置では、高密度のプラズマを発生させようとすると、同時にエネルギーの高い電子も生じ、この高エネルギーの電子が表面処理に悪影響を与える問題がある。

【0008】具体的に説明すると、例えばC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>等の反応性ガスを利用したSiO<sub>2</sub>/Siの選択エッチングをプラズマエッチング法により行うことが従来から研究されている。この選択エッチングは、SiO<sub>2</sub>層では酸素が存在するため揮発性のCO、CO<sub>2</sub>、COF<sub>2</sub>が生成されて炭素重合膜が形成されないものの、Si層では酸素がないため炭素重合膜が形成されてエッチングが停止するという現象を利用している。

【0009】発明者の研究によると、SiO<sub>2</sub>/Siの選択エッチングでは、プラズマに対する投入エネルギーを大きくするにつれてSiO<sub>2</sub>/Siの選択性が低下することが明らかになっている。この理由は、投入エネルギーの増大によって高エネルギーの電子が多く生成され、この高エネルギーの電子によってC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>ガスが過度に解離してしまうことが原因と考えられる。詳細なメカニズムは断定できないが、例えば、高エネルギーの電子によって活性化したフッ素系化学種を取り込んで炭素重合膜が形成されるか、または炭素重合膜の形成過程がフッ素活性種の存在下で行われることで、Siのエッチングが進行してしまうこと等によるものと推定できる。

【0010】図12に例示したようなプラズマ処理装置を使用した場合、上記のような問題を生ずる高エネルギー電子の生成が行われる可能性が高い。この原因には、使用する高周波の周波数が関係している。即ち、図12に示す装置では、13.56MHzのような10数MHz帯の高周波を発生させる電源を使用し、この程度の周波数の交番電界をプラズマ形成空間に印加している。この場合、電子は電界の向きが変わるたびに向きを変えてプラズマ形成空間中を移動する。この際、交番電界による周期的な運動（振動）だけでなく中性粒子との衝突によって電子の運動の向きが変化している場合、当該電子は交番電界に追従して運動することによりエネルギーが増大し、高エネルギー電子が生成される。

【0011】交番電界に追従することでエネルギーが増大する電子の割合を減少させるには、印加する高周波の周波数を100MHz以上にすればよい。この程度まで周波数を高くすると、電界の逆転により反転移動する際の電子の移動距離が短くなるので、エネルギーの増大が抑えられ、高エネルギー電子の生成が抑制される。しかしながら、図12に示すような渦巻き状の高周波コイルによって100MHz以上の高周波を励振することは、非常に困難である。

【0012】ここで、数GHz程度の高周波（マイクロ波）を使用する場合には、高周波コイルではなく導波管等の立体回路を用いて高周波を結合させることができる。例えば、ECRプラズマ処理装置は、2.45GHz

zのマイクロ波を方形導波管等で導いて使用している。この程度まで周波数が高くなると、電界の逆転により反転移動する際の電子の移動距離が短くなるので、10数MHz帯の周波数で見られたような有害な高エネルギー電子の生成は確かに抑制される。

【0013】しかしながら、この程度まで周波数を高くしてしまうと、逆に、電界による電子の運動エネルギーのみではプラズマを形成又は維持することが困難になってしまい、磁界によるサイクロトロン運動等の力を借りる必要がある。事実、ECRプラズマ処理装置は、1000ガウス近くの強い磁界を設定してECR（電子サイクロトロン共鳴）条件を成立させ、これを利用して高密度プラズマを形成するようにしている。

【0014】しかし、上記ECRプラズマ処理装置のように強い磁界を設定してプラズマを形成する場合、電子は磁界と電界との相互作用によって連続的に加速されるため、磁界の影響によって基板に対する処理が不均一になる問題がある。また、磁力線によって荷電粒子が運ばれる結果、基板上の磁場分布に応じたチャージアップが基板表面に発生し、不均一なチャージアップにより生ずる基板面内電位差によって絶縁膜が絶縁破壊して損傷するチャージアップダメージが発生する問題も生じやすい。

【0015】発明者の研究によれば、処理に有害な高エネルギー電子の生成が抑制でき、かつ、ECRプラズマ処理装置のような高い磁界の設定も不要である高周波の周波数は、100MHzから1000M（1G）Hzの範囲である。しかしながら、この帯域の周波数の高周波を使用してプラズマを形成する実用的な装置は、従来には存在しなかった。本願の発明は、上述したような各課題を解決するためになされたものであり、100MHzから1000MHzの範囲の周波数の高周波を使用してプラズマ形成することができる実用的な装置を提供することを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本願の請求項1記載の発明は、プラズマ形成用のガスに所定の高周波電力を供給するアンテナを具備しており、アンテナから供給された高周波電力によってプラズマを形成し、形成されたプラズマによって基板の表面に所定の処理を行うプラズマ処理装置であって、前記アンテナは、基板と同軸上の中心点に対して中心対称的に配置された複数のアンテナ素子を有し、各アンテナ素子の先端は、中心点に対して中心対称的に高周波電流の経路を設定する先端短絡用導体によって短絡されているという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項2記載の発明は、上記請求項1の構成において、各アンテナ素子と先端短絡用導体によって、供給する高周波電力の周波数で共振する複数の共振回路が中心対称的に形成されているという構成を有する。また、上記課題を

解決するため、請求項3記載の発明は、上記請求項1又は2の構成において、複数のアンテナ素子のうちの隣り合う二本のアンテナ素子の合計の長さ、その隣り合うアンテナ素子の先端を短絡する先端短絡用導体による高周波電流の経路の長さとの和が、当該高周波電流の経路における高周波の波長の1/2の長さに相当しているという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項4記載の発明は、上記請求項1、2又は3の構成において、複数のアンテナ素子は、基板の表面と平行な方向のアンテナ面の上に配設されており、これらのアンテナ素子が配設される空間とプラズマが形成される基板側の空間とを隔絶する誘電体製の隔壁が設けられているという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項5記載の発明は、上記請求項1、2、又は3の構成において、複数のアンテナ素子は、基板の表面と平行な方向のアンテナ面の上に配設されており、これらのアンテナ素子と先端短絡用導体とによってアンテナ面上に形成される開口を気密に塞ぐ誘電体製の隔絶ブロックを備えているという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項6記載の発明は、上記請求項1、2、3、4又は5の構成において、複数のアンテナ素子は、基板の中心と同軸上の中心点を中心とした等間隔の放射線上に中心点から等距離離間して配設された同一長さの棒状のものであり、これらのアンテナ素子の周辺側の端部を一体に保持した円環状又は円筒状の保持枠が設けられているという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項7記載の発明は、上記請求項1、2、3、4、5又は6の構成において、高周波電力の周波数が100から1000MHzであるという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項8記載の発明は、上記請求項1、2、3、4、5、6又は7の構成において、アンテナは、当該アンテナを構成する複数のアンテナ素子のうちの一つのアンテナ素子にのみ高周波線路が接続されているという構成を有する。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】以下、本願発明の実施の形態について説明する。図1は、本願発明の第一の実施形態のプラズマ処理装置の概略構成を示す正面図である。また、図2は、図1に示す及びこのプラズマ処理装置におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。図1に示すプラズマ処理装置は、排気系12を備えた真空容器1と、この真空容器1内の所定位置に処理する基板20を配置する基板ホルダー2と、真空容器1内の基板20の上方の空間にプラズマ形成用のガスを導入するガス導入手段3と、導入されたガスに高周波電力を供給してプラズマを形成する電力供給手段4とから主に構成されている。

【0018】まず、真空容器1は、不図示のゲートバルブを備えた気密な容器であり、電気的には接地されている。真空容器1に付設された排気系12は、油回転ポン

プとターボ分子ポンプの組み合わせのように多段の真空ポンプを備えた構成とされ、真空容器1内を例えば $10^{-6}$ Torr程度以下の圧力まで排気可能に構成されている。

【0019】また、基板ホルダー2は、不図示の静電吸着機構等を備えて真空容器1内の下方の所定位置で基板20を保持するようになっている。基板ホルダー2内には、基板20を所定温度に加熱するヒーター等の温度調節機構が必要に応じて設けられる。さらに、基板ホルダー2に所定の高周波電圧を印加してプラズマとの相互作用によって基板20に所定のバイアス電圧を与える基板バイアス電源が、必要に応じて基板ホルダー2に接続される。

【0020】ガス導入手段3は、所定のガスを溜めた不図示のボンベと真空容器1とを繋ぐガス導入用配管31と、ガス導入用配管31に設けられたバルブ32や流量調整器33等から構成されている。導入されるガスはプラズマ形成用のものであるが、基板20に対する処理の内容によっても異なる。例えば、基板20の表面に対してプラズマエッチングを行う場合には、フッ素化合物ガス等の反応性ガスを導入してプラズマを形成し、プラズマ中で生成されるフッ素活性種の作用を利用してエッチングを行う。また、アモルファスシリコン膜の作成を行う処理の場合には、シラン系のガスと水素の混合ガスを導入してプラズマを形成し、プラズマ中でのシラン系ガスの分解を利用して基板20上にアモルファスシリコン膜を作成する。

【0021】電力供給手段4は、所定の高周波電力を発生させる高周波電源43と、高周波電源43が発生させた高周波電力を真空容器1内のプラズマ形成用ガスに供給するアンテナ44と、高周波電源43とアンテナ44とを接続する高周波線路45と、高周波線路45上に設けられたスタブチューナー46とから主に構成されている。

【0022】高周波電源43としては、100Mから1000MHzの帯域の高周波電力を発生させるものが好ましい。即ち、100M以下であると、前述したような有害な高エネルギー電子の生成を抑制できない。また、1000MHz以上であると、磁界の設定等の手段を併用しなくては高密度プラズマの形成が不可能である。より具体的には、高周波電源43としては、本実施形態では発振周波数500MHzのUHF波を発生させるものが使用されており、出力は2kWのものが使用されている。

【0023】高周波線路45としては、例えば同軸ケーブルが使用される。スタブチューナー46は、下流側のインピーダンスを所定の値に整合を取るものであり、高周波電源43への反射波が無いように調整される。

【0024】アンテナ44の構成は、本実施形態の装置の大きな特徴点を成している。図1及び図2に示すよう

10

20

30

40

50

に、アンテナ44は、基板20と同軸上の中心点に対して中心対称的に配置された複数のアンテナ素子441と、各アンテナ素子441の先端を短絡した中心点に対して中心対称的な高周波電流の経路を設定する先端短絡用導体442と、各アンテナ素子441の周辺側の端部を一体に保持した円筒状の保持枠443とから構成されている。

【0025】各アンテナ素子441は、図1及び図2に示すように、基板20の中心と同軸上の中心点を中心とした等間隔の放射線上に中心点から等距離離間して配設された同一長さの丸棒状のものである。また、各アンテナ素子441は、同一平面上に、より具体的には、基板20の表面と平行な方向のアンテナ面の上に配設されている。アンテナ素子441は、計6本設けられており、60度間隔で配設されている。各アンテナ素子441の長さは、例えば120mm程度である。太さは直径15mm程度である。

【0026】また、先端短絡用導体442は、本実施形態では、各アンテナ素子441の先端をつなぐように設けられた円環状の部材で構成されている。先端短絡用導体442は、幅1.0mm程度、厚さ1mm程度の帯状の部材を円周状に形成した形状であり、幅方向の中央部分で見た円の直径は100mm程度になっている。先端短絡用導体442は、その上面を各アンテナ素子441の先端の下縁に接合することで各アンテナ素子441に保持されている。

【0027】さらに、保持枠443は、上壁部を有し、下面が開口になっている円筒状のものであり、各アンテナ素子441の周辺側の端部を内側面に固定して保持している。保持枠443の内径は350mm程度、外径は360mm程度である。図1に示すように、真空容器1の上壁部分には、保持枠443の直径よりも少し小さい開口が設けられており、保持枠443はこの開口を上から塞ぐように真空容器1に対して気密に接続されている。保持枠443は、高周波線路45等の貫通部分を気密に封止した気密な容器であり、保持枠443は真空容器1の器壁の一部を成すよう兼用されている。

【0028】また、各アンテナ素子441、先端短絡用導体442及び保持枠443は、いずれもアルミニウム又は銅等の金属又は合金で形成されており、各々の接合は、溶接、ハンダ付け、ロー付け又はネジ止め等の方法により行われる。

【0029】さて、本実施形態におけるアンテナ44の構成では、六本のアンテナ素子441のうちの特定の一本のアンテナ素子441に高周波線路45が接続されており、このアンテナ素子441にまず高周波が供給されるようになっている。そして、各アンテナ素子441は、隣接する他のアンテナ素子441に高周波が結合（カップリング）可能な状態となっており、一本のアンテナ素子441に印加された高周波は、隣接する他のア

ンテナ素子441に結合されて伝わり、各アンテナ素子441が均一に励振されるようになっている。尚、各アンテナ素子441を保持した保持枠443は、高周波線路45として用いた同軸ケーブルのアース線が接続されている。

【0030】また、隣り合う二本のアンテナ素子441と先端短絡用導体442内の高周波電流の経路とが、供給される高周波電力の周波数における共振回路を構成している。具体的に説明すると、隣り合う二本のアンテナ素子441と先端短絡用導体442内の高周波電流の経路とによって形成される高周波の伝送線が共振する構成は、受電端短絡の高周波線路の共振の場合に相当している。受電端短絡の高周波線路の共振条件は、周知のように、

$$l = n\lambda / 2 \cdots \cdots (1)$$

である。この式(1)において、 $l$ は線路の長さ、 $n$ は自然数、 $\lambda$ は高周波の波長である。

【0031】図3は、共振条件を説明した図である。図3の(A)は、上記(1)において、 $n=1$ の場合、(B)は $n=2$ の場合を示している。例えば(A)の $n=1$ の場合の寸法例について説明すると、上記式(1)は、 $\lambda = c/f$  ( $c$ は真空中の光速)から、

$$l = nc / 2f \cdots \cdots (2)$$

となる。従って、この式(2)に、 $n=1$ 、 $f=500 \times 10^6$  (Hz)、 $c=2.99792458 \times 10^8$  (m/s)を代入すると、 $l \approx 0.29$  (m)となる。

【0032】一方、前述したアンテナ素子441及び先端短絡用導体442の寸法例から線路の長さを求めると、線路の長さは、(アンテナ素子441の長さ)  $\times 2 +$  (先端短絡用導体442の周の長さ)  $\div 6$ に相当しているから、 $120 \times 2 + 100\pi \div 6$ より、ほぼ292mmとなって前記1に殆ど一致していることが分かる。つまり、前述した寸法例によると、図3に示す(A)の状態では共振することになるのである。尚、この図3

(A)から分かるように、共振状態では、線路の中央部分即ち先端短絡用導体442の部分で電圧最大で電流最小、接地されている保持枠443の接合部分で電圧最小で電流最大の分布となる。

【0033】上記計算による共振条件は、線路の誘導性リアクタンス $L$ 及び容量性リアクタンス $C$ が自由空間における場合と同様であるとしているが、発明者が確認したところでは、充分満足できる共振状態が得られている。但し、厳密に言えば、各アンテナ素子441と先端短絡用導体442による高周波電流の経路の長さとの和が、「当該高周波電流の経路における高周波の波長の $1/2$ 」に相当している場合、最も良好な共振状態となる。つまり、自由空間における高周波の波長ではなく、各アンテナ素子441と先端短絡用導体442とで形成される高周波線路が有する誘導性リアクタンス及び容量性リアクタンスのもとでの高周波の波長の $1/2$ という



ことである。

【0034】また、図1に示すように、各アンテナ素子441を臨む保持棒443の上壁部分に導体よりなる保持棒444をアンテナ素子441に向けてそれぞれ上下動可能に設け、各保持棒444の下端に導体板445を固定するとともに保持棒444を上下動させることによって各アンテナ素子441の上側の空間容量を調節するようにすると、線路の容量性リアクタンスCを調整することが可能である。

【0035】実際の設計では、各アンテナ素子441の長さや先端短絡用導体442の大きさは、処理する基板20の大きさ等の関係から決まってしまう場合が多い。この場合には、上記のようにして容量性リアクタンスを調整し、「高周波の波長の1/2」の方を「二本のアンテナ素子と先端短絡用導体による高周波電流の経路の長さ」に一致させていくことが行われる。

【0036】次に、上記アンテナ44の動作について説明する。図4は、アンテナ44の動作を説明するための概略図である。上述した六本のアンテナ素子441を便宜上時計回りに第一アンテナ素子441a、第二アンテナ素子441b、第三アンテナ素子441c、第四アンテナ素子441d、第五アンテナ素子441e、第六アンテナ素子441fとする。また、第一アンテナ素子441aに高周波線路45が接続されて高周波電力が最初に供給されるものとする。

【0037】第一アンテナ素子441aに高周波電力が供給されると、その第一アンテナ素子441aから先端短絡用導体442を経由して隣接する第二アンテナ素子441b及び第六アンテナ素子441fに高周波電流iが流れる。この際、第一アンテナ素子441aと第二アンテナ素子441b、及び、第一アンテナ素子441aと第六アンテナ素子441fによって共振回路が形成され、共振状態で三つのアンテナ素子441a、b、cが励振される。

【0038】そして、第二アンテナ素子441bとの結合によって第三アンテナ素子441cに高周波電流iが流れ、第六アンテナ素子441fとの結合によって第五アンテナ素子441eに流れる。即ち、第二アンテナ素子441bに流れる高周波電流iによって誘起された磁界により第三アンテナ素子441cに高周波電流iが流れ、第六アンテナ素子441fに流れる高周波電流iによって誘起された磁界により第五アンテナ素子441eに高周波電流iが流れる。そして、第二アンテナ素子441bと第三アンテナ素子441c、及び、第六アンテナ素子441fと第五アンテナ素子441eによってそれぞれ共振回路が形成され、共振状態でこれらのアンテナ素子441b、c、e、fが励振される。

【0039】そして、第四アンテナ素子441dには、第三アンテナ素子441cの高周波と第五アンテナ素子441fの高周波とが結合されて高周波電流iが流れ、

第三アンテナ素子441cと第四アンテナ素子441d、及び、第五アンテナ素子441eと第四アンテナ素子441dによって共振回路が形成されて共振状態で励振される。

【0040】このようにして、第一アンテナ素子441aに供給された高周波は、隣接するアンテナ素子441との間で共振状態を作りながら周方向に伝搬し、アンテナ44全体が均一に励振される。上記のように、一つのアンテナ素子441のみに高周波線路45を接続して一つのアンテナ素子441のみに最初に高周波を供給するようにする構成は、アンテナ44までの高周波の伝送手段を簡略化させる大きなメリットがある。

【0041】即ち、他のアンテナ素子441への高周波の伝搬が充分でない場合、例えば180度離れた二本のアンテナ素子441等のように複数のアンテナ素子441に高周波線路45を接続して複数のアンテナ441に同時に高周波を供給する構成が採用される場合がある。しかし、この場合には、高周波を二以上の線路に分配する分配器が必要になり、伝送手段の構成が複雑化する。また、分配器を使用して充分均等に高周波を分配することは技術的に難しい面があり、各アンテナ素子441に供給される高周波のバランスが悪くなるためにアンテナ44全体が均一に励振できないことがある。

【0042】一方、本実施形態の装置では、各アンテナ素子441の結合が強化されているため、二以上のアンテナ素子441に最初に高周波を供給するようには必要はない。従って、伝送手段の構成が簡略化でき、また、アンテナ44全体の励振バランスが悪くなることもない。

【0043】上述した構成及び作用のアンテナ44を備えた本実施形態の装置では、アンテナ面に平行な面内で極めて均一なプラズマを高い効率で形成させることができる。この点を以下に説明する。

【0044】図5は、本実施形態の装置の効果を確認した実験の結果を示した図である。この実験は、真空容器1内のプラズマ形成空間においてアンテナ面に平行な面方向(図1にX-Xで示す)でのプラズマ密度の分布を測定したものである。図5の実線が本実施形態の装置のプラズマ密度分布、点線が本実施形態の装置において先端短絡用導体442を設けない構成(以下、比較例)のプラズマ密度分布を示している。両方とも、アンテナ44への投入電力は同じである。

【0045】図5に点線で示す通り、比較例の装置では、高周波線路45が接続されたアンテナ素子441の直下の部分でプラズマ密度が突出しており、他の部分ではプラズマ密度はかなり低下している。これは、高周波線路45が接続されたアンテナ素子441の部分で高周波電力が多く消費され、他のアンテナ素子441には伝搬していかない状況を示している。

【0046】一方、図5に実線で示す通り、本実施形態



の装置によれば、プラズマ密度はアンテナ面に平行な面内で均一となり、均一なプラズマが形成されることが分かる。また、プラズマ密度の平均値も比較例の装置よりも向上しており、プラズマの形成効率の点でも改善されていることが分かる。

【0047】このようなプラズマ密度の均一化及びプラズマ形成効率の向上の原因については、一概に明らかではないが、以下のような点が原因していると想像される。まず、プラズマ密度の均一化については、図6を使用して説明する。図6は、比較例のアンテナ44における高周波の伝搬状況を示した斜視概略図である。

【0048】先端短絡用導体442を使用しなかった場合、隣接するアンテナ素子441同士は、図6に示すように、アンテナ素子441の先端部分で挟まれた空間の容量 $C_1$ を介して結合して一つの共振回路を形成すると想定される。即ち、二本のアンテナ素子441と空間容量 $C_1$ とによって一つの共振回路が形成されているものと思われる。

【0049】この場合、各アンテナ素子441の結合は、空間容量 $C_1$ を介した容量性結合であり、先端短絡用導体442によって直接結合している本実施形態の場合に比べかなり弱くなっているものと思われる。つまり、高周波線路45が接続されたアンテナ素子441が励振された際に、隣接するアンテナ素子441に流れる高周波電流は、先端短絡用導体442で直結された場合に比べ相当程度低くなっているものと思われる。

【0050】一方、各アンテナ素子441から放射される電界によって形成されたプラズマPと各アンテナ素子441との間にも空間容量 $C_2$ が存在し、各アンテナ素子441とプラズマPとは容量性結合している。即ち、プラズマPとアンテナ素子441とを結ぶ方向（アンテナ面に垂直な方向）に成分を持つ電界が空間容量 $C_2$ を介して各アンテナ素子441によってプラズマ形成空間に設定され、この電界によって周期的に電子は加速される。そして、各アンテナ素子441に供給された高周波電力は、この空間容量 $C_2$ を介したプラズマPとの結合によって消費される。即ち、電子にエネルギーを与えてプラズマを形成又は維持する。

【0051】ここで、比較例の場合、アンテナ素子441同士の結合が弱いため、高周波は、最初に供給されたアンテナ素子441とプラズマPとの結合を経て消費される割合が高いものと推定される。つまり、アンテナ441同士の結合が弱いため、高周波は隣接するアンテナ素子441には伝搬せず、最初に供給されたアンテナ素子441の直下の部分でのプラズマPへのエネルギー供給に専ら消費されてしまうものと考えられる。

【0052】図5に示した点線で示したプラズマ密度の突出は、このようなメカニズムによって生じているものと思われる。そして、プラズマ密度の高い領域がいったん形成されると、その領域のインピーダンスが低下し、

この結果、更に結合が強くなってプラズマ密度が高くなる。これは、丁度正のフィードバックがかかって発振が始まるのと同じ原理であり、プラズマがどんどん局在化してようになってしまう。

【0053】一方、本実施形態の装置では、先端短絡用導体442によって隣接するアンテナ素子441の結合が強化されているため、一つのアンテナ素子441に供給された高周波は、そのアンテナ素子441の直下の部分で消費される量に対して相対的に多くの量が各アンテナ素子441に伝搬していくものと思われる。この結果、各アンテナ素子441から放射される電界は均一でバランスが取れたものとなり、従って、各アンテナ素子441の直下の部分で消費される高周波電力の量も均一でバランスの取れたものとなる。このようなメカニズムによって、前述したプラズマ密度の均一化が達成されているものと思われる。

【0054】尚、本実施形態の装置では、各アンテナ素子441により多くの電流が流れるため、プラズマに対する高周波の結合は、比較例の場合に比べ、容量性結合よりも誘導性結合の割合が増加しているものと推定される。即ち、各アンテナ素子441中に流れる高周波電流により誘起された磁界によってプラズマ形成空間に電界が誘導され、この誘導電界によって電子が加速されてエネルギーを受け取る割合が高くなっているものと推定される。但し、投入電力が同じである場合、単に先端短絡用導体442を設けただけでは、アンテナ44に流れる高周波電流の増大はそれ程大きくなく、誘導結合が完全に支配的となるには投入電力の増大が必要であると思われる。

【0055】次に、プラズマ形成効率の改善について説明する。前述したプラズマ形成効率改善の効果は、以下のような理由によるものと考えられる。即ち、プラズマ形成効率は、投入全エネルギーに対する平均プラズマ密度の割合であると概略的には表現できる。上記のようにアンテナ44を介して高周波エネルギーをプラズマに供給する構成では、アンテナ44までの高周波線路45における損失が一定であるとする、アンテナ44の部分における高周波エネルギーの損失がプラズマ形成効率を決定することになる。

【0056】アンテナ44における高周波エネルギーの損失は、まずアンテナ素子441が完全導体ではないことに起因する損失が上げられる。これは、アンテナ素子441のインピーダンスの実数部が影響するが、同一の材質や表面状態のアンテナ素子441を使用する限りは基本的に改善はない。アンテナ44の部分における高周波電力の損失を低減させる最も効果的な方法は、前述したようにアンテナ素子441によって共振回路が形成されるようにすることである。共振条件が達成されれば、リアクタンスは最低になるので、アンテナ素子441の部分における高周波エネルギーの損失は最低となる。

【0057】ここで、周知のように、プラズマを気体放電によって形成する場合、プラズマと電極との間にはプラズマシースが形成され、このプラズマシースの電界によって荷電粒子が加速される。本実施形態及び参考例の構成では、プラズマのアンテナ44側の境界部分に隣接してプラズマシースが形成され、前記空間容量C2にはこのプラズマシースの部分の空間容量が含まれる。

【0058】プラズマシースの厚さは、プラズマ密度によって影響を受け、プラズマ密度が高くなった部分ではプラズマシースの幅が狭くなり、プラズマ密度が低くなった部分ではプラズマシースの幅が広がる。プラズマシースが狭くなると、その部分の空間容量が大きくなるので結果的に空間容量C2が大きくなり、プラズマシースが広がると、その部分の空間容量が小さくなるので結果的に空間容量C2が小さくなる。つまり、各アンテナ素子441の部分で空間容量C2が不均一になる。

【0059】この空間容量C2は、前述した共振回路を構成する線路の容量性リアクタンスCに含まれるから、空間容量C2の不均一化は、共振周波数のずれをもたらす。即ち、特定のアンテナ素子441では共振するが、他のアンテナ素子442では共振しなくなったり、もしくは全てのアンテナ素子441で共振しなくなってしまうりする。

【0060】アンテナ素子441が共振しなくなると、アンテナ44とスタブチューナー46との間に定在波が発生し、この定在波によってアンテナ44とスタブチューナー46との間の伝送路に変位電流が流れるため、損失が増大する。この結果、プラズマの形成効率が低下する。また、アンテナ素子441相互に共振周波数のずれが生じると、各アンテナ素子441相互の高周波の結合が充分でなくなり、反射波の発生等の損失が生じる。

【0061】一方、本実施形態の装置では、前述のように均一な密度のプラズマが形成されるため、プラズマシースの空間容量の不均一化が生じない。また、本実施形態の装置では、前述した通り、プラズマが各アンテナ素子441と誘導性結合してエネルギーを受け取る割合が相対的に高くなっている。誘導性結合では、アンテナ素子441の長さ方向に成分を持った誘導電界によって電子が加速されてプラズマが形成されるので、容量性結合のようにプラズマ密度の高いところプラズマシースが狭くなるようなことはない。従って、何らかの事情でプラズマ密度が不均一化しても、それによって共振周波数が影響を受けることは少ない。このようなことから、本実施形態の装置の高いプラズマ形成効率が得られるものと思われる。

【0062】尚、各アンテナ素子441とプラズマとの容量性結合をどの程度弱くしておけばよいかは、次のように説明できる。図7は、各アンテナ素子441とプラズマとの容量性結合の度合いについての説明図である。各アンテナ素子441とプラズマとの容量性結合の程度

は、「プラズマ密度の変化が共振周波数の変動に影響を与えない程度」と表現できる。即ち、図7に示すように、共振周波数の半値幅を $\Delta f$ とし、予想されるプラズマ密度の変化に伴う共振周波数のずれの最大値を $\Delta f_0$ とした場合、 $\Delta f$ に対して $\Delta f_0$ が充分小さく( $\Delta f \gg \Delta f_0$ )なる程度に容量性結合を弱くしておけば良い。

【0063】また、前述した通り、アンテナ44とプラズマとが誘導性結合する割合を大きくするためには、アンテナ44への投入電力を大きくすることが重要である。この点を図8を使用して説明する。図8は、誘導性結合についての説明図であり、図1の装置において投入電力を大きくしていった場合のプラズマ密度分布の変化を示した図である。図8中、P1、P2、P3、P4はいずれも高周波電力であり、 $P1 < P2 < P3 < P4$ である。

【0064】図8に示すように、高周波電力が小さい(P1、P2、P3)うちは、アンテナ素子441の先端部分の直下においてプラズマ密度が高く、保持棒443との接合部分である周辺側の端部の部分でプラズマ密度が弱くなる。前述の通り、アンテナ素子441が形成する共振回路では、アンテナ素子441の先端部分で電圧が最も高く(電流が最も低く)、周辺部の端部の部分で電圧が最も低くなる(電流が最も高くなる)ので、図8に示す電力P1、P2、P3の場合のプラズマ密度の分布は、アンテナ素子441とプラズマとの結合は容量性結合が支配的であることを示している。

【0065】一方、高周波電力がある限度を越えて大きくなると(P4)、アンテナ素子441の周辺側の端部の下方でもプラズマ密度は高くなり、ほぼ均一な分布となる。これは、アンテナ素子441に流れる電流が高くなる部分でプラズマ密度が高くなることを示しており、アンテナ素子441とプラズマとの結合は誘導性結合が支配的になったことを示している。尚、原理的には、中央部分に比べて周辺部分でプラズマ密度が高くなるはずであるが、周辺部分では保持棒443(又は真空容器1)の側壁でのプラズマの損失があるので、この分で相殺される。電力とともに圧力がある程度高くすると、周辺部分でのプラズマ密度の突出が見られる。

【0066】誘導性結合は、各アンテナ素子441を先端短絡用導体442で短絡させたために、大電力の投入によって大きな電流を流すことが可能になり、この結果可能になったものである。誘導性結合させると、前述した通りプラズマ密度の変動によっては共振周波数が変化することがなくなり、均一で高密度のプラズマを安定して形成することが可能になる。従って、実用的なメリットは大きい。

【0067】どの程度まで、投入電力を大きくすれば誘導性結合に移行するかは、圧力等によっても異なるので一概には言えないが、アンテナ44への投入電力を保持棒443の断面積で割った電力密度でいうと、 $1\text{ W}/\text{cm}^2$

m<sup>2</sup> 程度以上であれば誘導性結合が支配的になるものと考えられる。

【0068】上述したようなアンテナ44の下方には、隔壁5が設けられている。隔壁5は、図1に示すように、アンテナ素子441が配設される空間とプラズマが形成される基板20側の空間とを隔絶するようにして設けられている。隔壁5は、石英ガラスやアルミナ等の誘電体で形成された板状の部材である。隔壁5は、保持枠443の内側に保持枠443に対して気密に取り付けられている。

【0069】このような隔壁5は、プラズマが基板20側の空間のみに形成されるようにする作用を有している。即ち、アンテナ素子441は基板20側のみならず、基板20と反対側の空間に対しても高周波電界を放射しているので、隔壁5が無いと、基板20とは反対側の空間にもプラズマ形成用ガスが拡散してプラズマが形成されてしまう恐れがある。

【0070】このような場所に形成されたプラズマは基板20の処理には利用できない無駄なものであり、単なる高周波電力の損失になる。また、図1に示すようなアンテナ44の構成では、各アンテナ素子441と保持枠443の上壁部分との間の空間の容量が共振条件に影響を与えるが、この空間にプラズマが形成されると、この空間の容量が大きく変化し、この結果共振周波数が激しく変動する。従って、隔壁5は、無駄な場所でのプラズマ形成を抑制するとともに共振状態を安定化させるのに顕著な効果がある。

【0071】次に、本実施形態の装置の全体の動作について説明する。まず、真空容器1には不図示のロードロックチャンバーが気密に接続されており、ロードロックチャンバー内に基板20を配置してロードロックチャンバーと真空容器1とを10<sup>-6</sup>Torr程度まで排気する。この状態で不図示のゲートバルブを開けて基板20を真空容器11内に搬入し、基板ホルダー2上に載置する。そして、ゲートバルブを閉めた後、ガス導入手段3を動作させ、所定のガスを所定の流量で真空容器1内に導入する。導入されたガスは真空容器1内を拡散し、アンテナ44の下方のプラズマ形成空間に達する。

【0072】次に、電力供給手段4を動作させ、高周波電源43から高周波線路45を伝ってアンテナ44に高周波電力を供給する。供給された高周波電力は、前述したように各アンテナ素子441に均一に伝搬し、プラズマ形成空間に均一な放射電界又は誘導電界を設定する。この電界によってプラズマが形成され、プラズマの作用によって基板20の表面に所定の処理が施される。即ち、前述したに、フッ素化合物ガスを導入して形成したプラズマによってエッチングを行ったり、シランと水素の混合ガスを導入してアモルファスシリコン膜を作成したりする処理を行う。このような処理を所定時間行った後、真空容器1内を再度排気し、その後基板20を真空

容器1から取り出す。上記動作において、前述したように均一で高密度のプラズマが形成されるので、均一性の高い処理を高効率で行うことが可能になる。

【0073】次に、本願発明の他の実施形態について説明する。図9は、本願発明の第二の実施形態の主要部を示した図であり、第二の実施形態におけるアンテナ44の概略構成を示した平面図である。この第二の実施形態では、先端短絡用導体442として円板状の部材を使用している。各アンテナ素子441の先端は、円板状の先端短絡用導体442の端面に接合されている。円板の厚さはアンテナ素子441と同程度であり、材質は第一の実施形態と同じくアルミニウムや銅等の金属又は合金である。この第二の実施形態においても、第一の実施形態と同様、先端短絡用導体442によってアンテナ素子441同士の結合が強化され、前述したと同様のプラズマ密度の均一化とプラズマ形成効率の向上の効果が得られる。

【0074】図10は、本願発明の第三の実施形態の主要部を示したものであり、第三の実施形態におけるアンテナ44の概略構成を示した平面図である。この第三の実施形態では、先端短絡用導体442として、帯板状の部材を丸めて円環状にした形状のものを使用している。帯板の幅はアンテナ素子441の太さと同程度であり、材質は同様にアルミニウムや銅等の金属又は合金である。この第三の実施形態においても、第一第二の実施形態と同様、先端短絡用導体442によってアンテナ素子441同士の結合が強化され、前述したと同様にプラズマ密度の均一化とプラズマ形成効率の向上の効果が得られる。

【0075】また、この第三の実施形態では、先端短絡用導体442がプラズマに対向する面の面積は、前述した第一第二の実施形態に比べ小さくなる。このため、先端短絡用導体442の部分におけるプラズマとの高周波結合は、第一第二の実施形態の場合に比べ、容量性結合の度合いはさらに少なくなる。従って、隣接するアンテナ素子441への結合の強化によるプラズマ密度の均一化や共振周波数のずれの抑制によるプラズマ形成効率改善の効果が向上する。

【0076】さらに図11は、本願発明の第四の実施形態の主要部を示したものであり、第四の実施形態におけるアンテナ44の概略構成を示した平面図である。この第四の実施形態では、アンテナ44の構成は上記第三実施形態の場合とほぼ同様であるが、アンテナ素子441と先端短絡用導体442とによってアンテナ面上に形成される開口を気密に塞ぐ誘電体製の隔絶ブロック6が備えられている。そして、この第四の実施形態では、図1に示すような隔壁5は設けられない。絶縁ブロック6が隔壁5の代わりになっている。

【0077】この第四の実施形態によれば、隔壁5を使用しないので、各アンテナ素子441とプラズマ形成空

間と距離を短くすることができ、プラズマの形成効率をさらに高くすることができる。即ち、アンテナ44による電界のうち、放射電界は距離に反比例して小さくなる傾向を示すは、アンテナ素子441とプラズマ形成空間との距離を小さくすることで、放射電界の高い領域を利用してプラズマ形成することができるので、プラズマ形成効率が向上する。また、隔絶ブロック6の合計の体積は、図1に示す隔壁5の場合に比べて小さくすることができるので、誘電体損も図1の場合に比べて小さくすることができる。この点もプラズマ形成効率の向上に寄与している。

【0078】上述した各実施形態の装置の構成において、等間隔の放射線上への各アンテナ素子441の配置は中心対称的な配置の一例であり、これ以外にも多くのものが考えられる。例えば、棒状のアンテナ素子を平行に等間隔において並べた配置等である。また、先端短絡用導体442の構成も同様であり、前述した円環状又は円板状の構成の他、中心対称的な構成として他の多くのものが採用できる。例えば、アンテナ素子441の数に応じた正多角形状のリング状又は板状等である。

【0079】

【発明の効果】以上説明した通り、本願の請求項1の発明によれば、各アンテナ素子と先端短絡用導体によって中心対称的な高周波電流の経路が設定されるので、アンテナ素子同士の高周波の結合が強化される。このため、各アンテナ素子に高周波が均一に伝搬し、この結果、均一なプラズマが形成されて基板の処理の均一化が図られる。また、請求項2又は3の発明によれば、上記効果に加え、各アンテナ素子と先端短絡用導体によって共振回路が形成されるので、アンテナの部分における損失が最低となり、高効率のプラズマ形成に寄与する。また、請求項4又は5の発明によれば、上記効果に加え、不必要な場所へのプラズマの形成が無くなるので、電力の無駄が無くなり、この点でさらにプラズマ形成効率が向上する。また、請求項6の発明によれば、上記効果に加え、アンテナ素子とプラズマ形成空間との距離が小さくなるので、さらにプラズマ形成効率が向上する。また、請求項7の発明によれば、上記効果に加え、有害な高エネルギー電子の生成が抑制されるとともに、磁場印加の必要なくして高密度プラズマが得られるという効果が得られる。また、請求項8の発明によれば、上記効果に加え、アンテナへの高周波の伝送路の構成が簡略化され、アンテナ全体の励振のバランスが悪くなることがないという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本願発明の第一の実施形態のプラズマ処理の概略構成を示した正面図である。

【図2】図1に示す及びこのプラズマ処理装置におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

【図3】図1の装置におけるアンテナの共振条件を説明した図である。

【図4】図1の装置におけるアンテナの動作を説明するための外略図である。

10 【図5】本実施形態の装置の効果を確認した実験の結果を示した図である。

【図6】比較例のアンテナにおける高周波の伝搬状況を示した斜視概略図である。

【図7】各アンテナ素子とプラズマとの容量性結合の度合いについての説明図である。

【図8】誘導性結合についての説明図であり、図1の装置において投入電力を大きくしていった場合のプラズマ密度分布の変化を示した図である。

20 【図9】本願発明の第二の実施形態の主要部を示した図であり、第二の実施形態におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

【図10】本願発明の第三の実施形態の主要部を示したものであり、第三の実施形態におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

【図11】本願発明の第四の実施形態の主要部を示したものであり、第四の実施形態におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

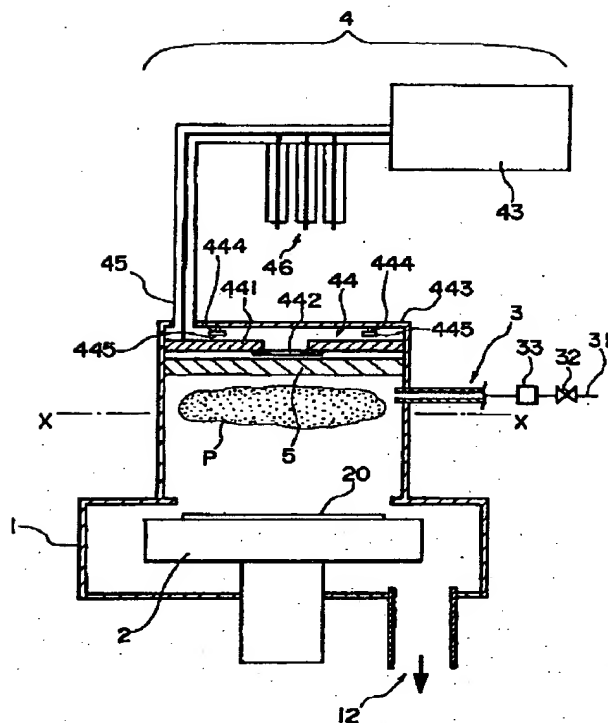
【図12】従来のプラズマ処理装置の一例を示した図である。

30 【符号の説明】

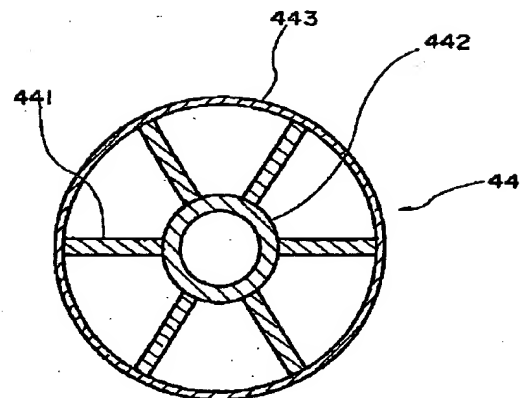
- 1 真空容器
- 12 排気系
- 2 基板ホルダー
- 20 基板
- 3 ガス導入手段
- 4 電力供給手段
- 43 高周波電源
- 44 アンテナ
- 441 アンテナ素子
- 442 先端短絡用導体
- 443 保持棒
- 45 高周波線路
- 5 隔壁
- 6 隔絶ブロック

40

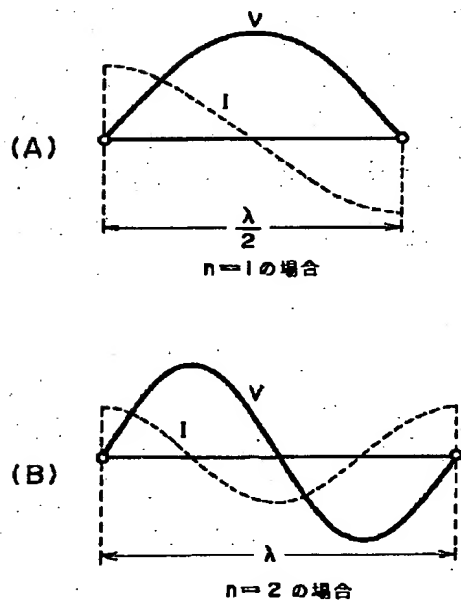
【図1】



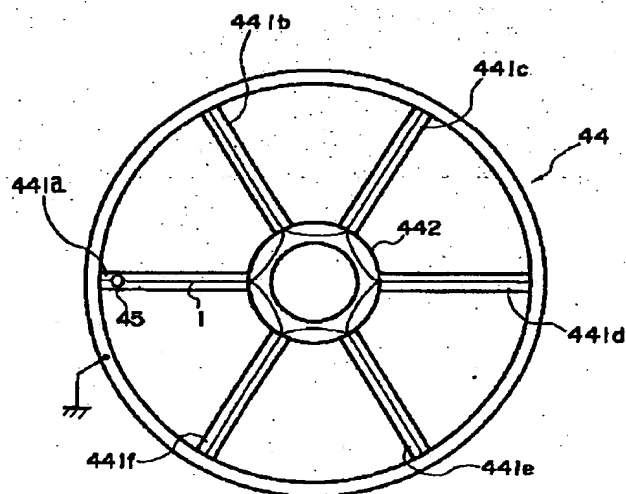
【図2】



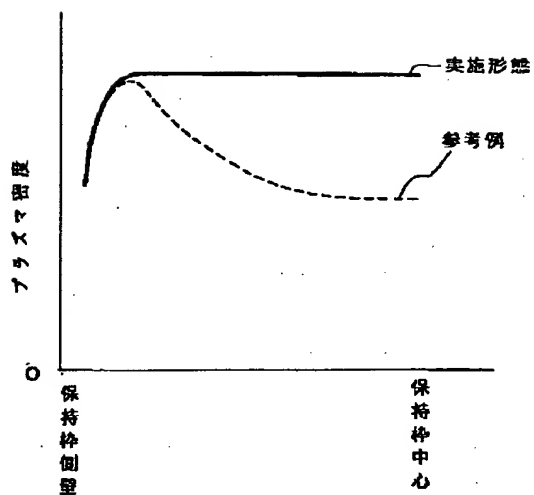
【図3】



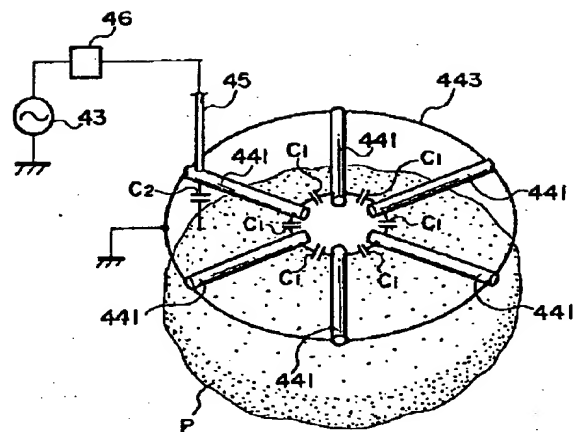
【図4】



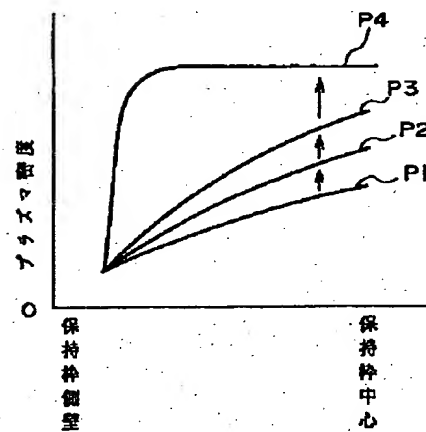
【図5】



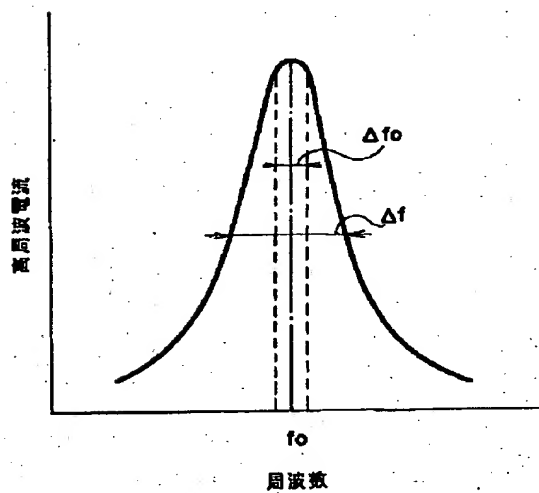
【図6】



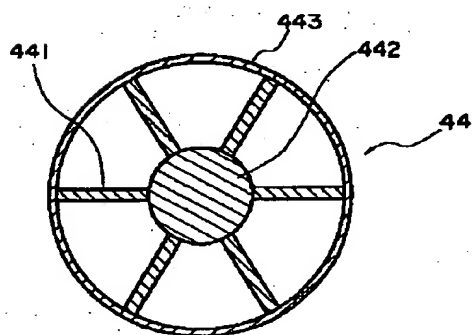
【図8】



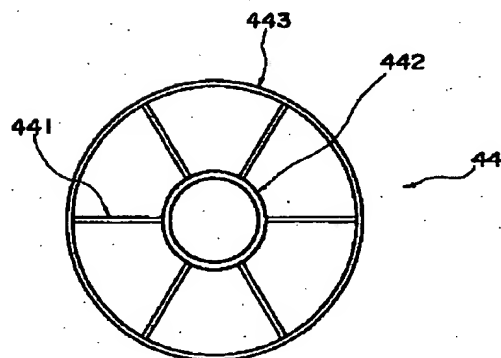
【図7】



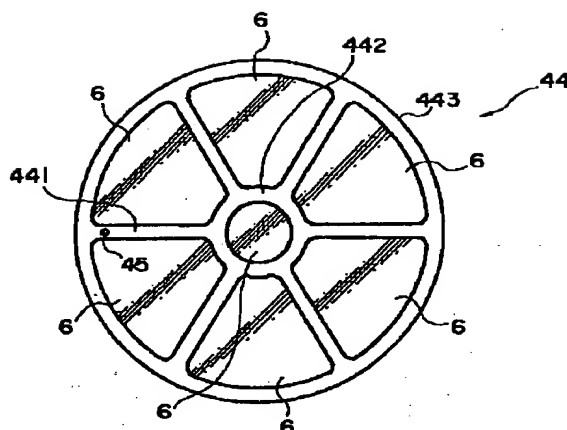
【図9】



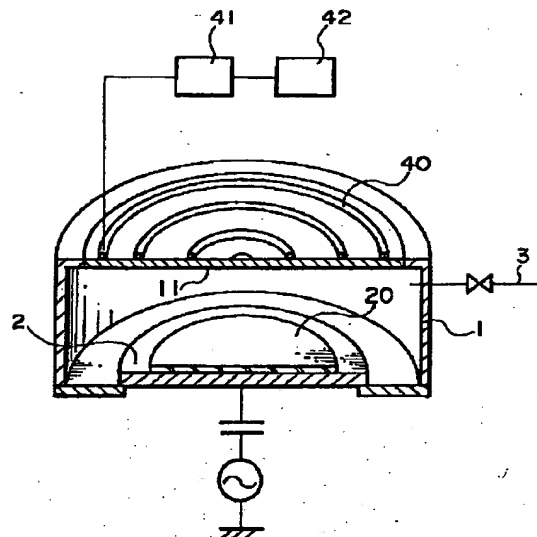
【図10】



【図11】



【図12】



## 【手続補正書】

【提出日】平成9年10月28日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0004】図12に示すプラズマ処理装置は、上部壁面に誘電体窓11を有する真空容器1と、真空容器1内の所定位置に基板を配置するための基板ホルダー2と、真空容器内にプラズマ形成用ガスを導入するガス導入手段3と、真空容器1の外側であって誘電体窓11に近接した位置に配置された高周波コイル40と、整合器41を介して高周波コイル40に所定の高周波電力を印加する高周波電源42等から主に構成されている。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0005】真空容器1は、排気系12を備えた気密な容器であり、ガス導入手段3によって所定のプラズマ形成用ガスが導入されるようになっている。また、真空容器1内の下方には、基板ホルダー2が配設されており、上面に基板20を保持するようになっている。そして、高周波コイル40は、基板20の板面に垂直な方向を中心軸として基板20の板面に平行な面内に渦巻き状に形成されたものである。

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0008】具体的に説明すると、例えば $C_4F_8$ 等の反応性ガスを利用した $SiO_2/Si$ の選択エッチングをプラズマエッチング法により行うことが従来から研究されている。この選択エッチングは、 $SiO_2$ 層では酸素が存在するため揮発性の $CO$ 、 $CO_2$ 、 $COF_2$ が生成されて炭素重合膜が形成されないものの、 $Si$ 層では酸素がないため炭素重合膜が形成されてエッチングが停止するという現象を利用している。

## 【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0024】アンテナ44の構成は、本実施形態の装置の大きな特徴点を成している。図1及び図2に示すように、アンテナ44は、基板20と同軸上の中心点に対して中心対称的に配置された複数のアンテナ素子441と、各アンテナ素子441の先端を短絡して中心点に対して中心対称的な高周波電流の経路を設定する先端短絡用導体442と、各アンテナ素子441の周辺側の端部を一体に保持した円筒状の保持枠443とから構成されている。

## 【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0056

【補正方法】変更



## 【補正内容】

【0056】アンテナ44における高周波エネルギーの損失は、まずアンテナ素子441が完全導体ではないことに起因する損失があげられる。これは、アンテナ素子441のインピーダンスの実数部が影響するが、同一の材質や表面状態のアンテナ素子441を使用する限りは基本的に改善はない。アンテナ44の部分における高周波電力の損失を低減させる最も効果的な方法は、前述したようにアンテナ素子441によって共振回路が形成されるようにすることである。共振条件が達成されれば、リアクタンスは最低になるので、アンテナ素子441の部分における高周波エネルギーの損失は最低となる。

## 【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0057

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0057】ここで、周知のように、プラズマを気体放電によって形成する場合、プラズマと電極との間にはプラズマシースが形成され、このプラズマシースの電界によって荷電粒子が加速される。本実施形態及び参考例の構成では、プラズマのアンテナ44側の境界部分に隣接してプラズマシースが形成され、前記空間容量 $C_2$ にはこのプラズマシースの部分の空間容量が含まれる。

## 【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0058】プラズマシースの厚さは、プラズマ密度によって影響を受け、プラズマ密度が高くなった部分ではプラズマシースの幅が狭くなり、プラズマ密度が低くなった部分ではプラズマシースの幅が広がる。プラズマシースが狭くなると、その部分の空間容量が大きくなるので結果的に空間容量 $C_2$ が大きくなり、プラズマシースが広がると、その部分の空間容量が小さくなるので結果的に空間容量 $C_2$ が小さくなる。つまり、各アンテナ素子441の部分で空間容量 $C_2$ が不均一になる。

## 【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0062

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0062】尚、各アンテナ素子441とプラズマとの容量性結合をどの程度弱くしておけばよいかは、次のように説明できる。図7は、各アンテナ素子441とプラズマとの容量性結合の度合いについての説明図である。各アンテナ素子441とプラズマとの容量性結合の程度は、「プラズマ密度の変化が共振周波数の変動に影響を与えない程度」と表現できる。即ち、図7に示すよう

に、共振周波数の半値幅を $\Delta f$ とし、予想されるプラズマ密度の変化に伴う共振周波数のずれの最大値を $\Delta f_0$ とした場合、 $\Delta f$ に対して $\Delta f_0$ が充分小さく（ $\Delta f \gg \Delta f_0$ ）なる程度に容量性結合を弱くしておけば良い。

## 【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0077

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0077】この第四の実施形態によれば、隔壁5を使用しないので、各アンテナ素子441とプラズマ形成空間と距離を短くすることができ、プラズマの形成効率をさらに高くすることができる。即ち、アンテナ44による電界のうち、放射電界は距離に反比例して小さくなる傾向を示すが、アンテナ素子441とプラズマ形成空間との距離を小さくすることで、放射電界の高い領域を利用してプラズマ形成することができるので、プラズマ形成効率が向上する。また、隔壁5の合計の体積は、図1に示す隔壁5の場合に比べて小さくすることができるので、誘電体損も図1の場合に比べて小さくすることができる。この点もプラズマ形成効率の向上に寄与している。

## 【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】本願発明の第一の実施形態のプラズマ処理の概略構成を示した正面図である。

【図2】図1に示すプラズマ処理装置におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

【図3】図1の装置におけるアンテナの共振条件を説明した図である。

【図4】図1の装置におけるアンテナの動作を説明するための概略図である。

【図5】本実施形態の装置の効果を確認した実験の結果を示した図である。

【図6】比較例のアンテナにおける高周波の伝搬状況を示した斜視概略図である。

【図7】各アンテナ素子とプラズマとの容量性結合の度合いについての説明図である。

【図8】誘導性結合についての説明図であり、図1の装置において投入電力を大きくしていった場合のプラズマ密度分布の変化を示した図である。

【図9】本願発明の第二の実施形態の主要部を示した図であり、第二の実施形態におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

【図10】本願発明の第三の実施形態の主要部を示したものであり、第三の実施形態におけるアンテナの概略構

成を示した平面図である。

【図11】本願発明の第四の実施形態の主要部を示したものであり、第四の実施形態におけるアンテナの概略構成を示した平面図である。

【図12】従来のプラズマ処理装置の一例を示した図である。

【符号の説明】

- 1 真空容器
- 12 排気系
- 2 基板ホルダー
- 20 基板

- 3 ガス導入手段
- 4 電力供給手段
- 43 高周波電源
- 44 アンテナ
- 441 アンテナ素子
- 442 先端短絡用導体
- 443 保持枠
- 45 高周波線路
- 5 隔壁
- 6 隔絶ブロック

---

フロントページの続き

- (72)発明者 中川 行人  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内
- (72)発明者 佐藤 久明  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内

- (72)発明者 塚田 勉  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内
- (72)発明者 篠原 己拔  
神奈川県横浜市緑区中山町1119番地日本高  
周波株式会社内
- (72)発明者 新村 保夫  
神奈川県横浜市緑区中山町1119番地日本高  
周波株式会社内